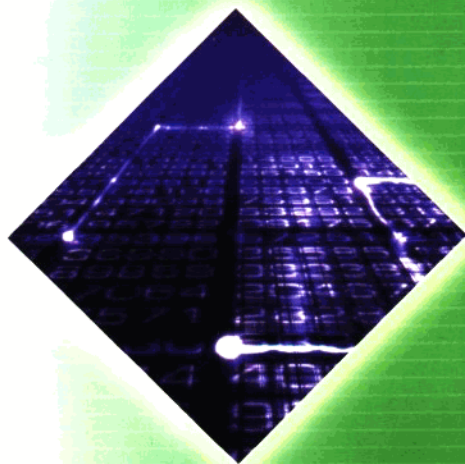




教育科学“十五”国家规划课题研究成果

计算机控制系统

王平 肖琼 陈敏娜 编著



高等教育出版社

教育科学“十五”国家规划课题研究成果

计算机控制系统

王 平 肖 琼 陈敏娜 编著

高等教育出版社

内容提要

本书吸收国内外的先进理论、方法和技术,以计算机控制技术与控制理论有机结合为基础,以计算机控制系统的网络化、开放化、智能化和集成化发展趋势为主线,有机地融入了作者多年参加国家 863 项目的科研成果,注重系统性、实用性,强调计算机控制理论的实际运用,以科研工作的亲身体会和经验,着重对学生实际动手能力、独立思考能力、创新思维能力和综合运用能力的培养和训练。编写中力求做到重点突出,层次分明,语言精练,易于理解。

本书可作为普通高等院校电子信息类、电气工程类、机械电子类、仪器仪表类及其相关专业的本科生、研究生的教科书和教学参考书,也可作为广大科技工作者和工程技术人员的参考书。

全书共 8 章,每章均附有精选的习题。

图书在版编目(CIP)数据

计算机控制系统/王平,肖琼,陈敏娜编著. —北京:
高等教育出版社,2004.8

ISBN 7-04-014557-X

Ⅰ. 计... Ⅱ. ①王... ②肖... ③陈... Ⅲ. 计算机
控制系统—高等学校—教材 Ⅳ. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 053890 号

策划编辑 韩 颖 责任编辑 陈大力 封面设计 张 楠
版式设计 王艳红 责任校对 殷 然 责任印制 陈伟光

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-82028899

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
印 刷 北京市白帆印务有限公司

开 本 787×960 1/16
印 张 24
字 数 450 000

版 次 2004 年 8 月第 1 版
印 次 2004 年 8 月第 1 次印刷
定 价 29.90 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

冠 序

为了更好地适应当前我国高等教育跨越式发展需要,满足我国高校从精英教育向大众化教育的重大转移阶段中社会对高校应用型人才培养的各类要求,探索和建立我国高等学校应用型人才培养体系,全国高等学校教学研究中心(以下简称“教研中心”)在承担全国教育科学“十五”国家规划课题——“21世纪中国高等教育人才培养体系的创新与实践”研究工作的基础上,组织全国100余所以培养应用型人才为主的高等院校,进行其子项目课题——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的研究与探索,在高等院校应用型人才培养的教学内容、课程体系研究等方面取得了标志性成果,并在高等教育出版社的支持和配合下,推出了一批适应应用型人才培养需要的立体化教材,冠以“教育科学‘十五’国家规划课题研究成果”。

2002年11月,教研中心在南京工程学院组织召开了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题立项研讨会。会议确定由教研中心组织国家级课题立项,为参加立项研究的高等院校搭建高起点的研究平台,整体设计立项研究计划,明确目标。课题立项采用整体规划、分步实施、滚动立项的方式,分期分批启动立项研究计划。为了确保课题立项目标的实现,组建了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题领导小组(亦为高校应用型人才立体化教材建设领导小组)。会后,教研中心组织了首批课题立项申报,有63所高校申报了近450项课题。2003年1月,在黑龙江工程学院进行了项目评审,经过课题领导小组严格的把关,确定了首批9项子课题的牵头学校、主持学校和参加学校。2003年3月至4月,各子课题相继召开了工作会议,交流了各校教学改革的情况和面临的具体问题,确定了项目分工,并全面开始研究工作。计划先集中力量,用两年时间形成一批有关人才培养模式、培养目标、教学内容和课程体系等理论研究成果报告和在研究报告基础上同步组织建设的反映应用型人才特色的立体化系列教材。

与过去立项研究不同的是,“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题研究在审视、选择、消化与吸收多年来已有应用型人才探索与实践成果基础上,紧密结合经济全球化时代高校应用型人才工作的实际需要,努力实践,大胆创新,采取边研究、边探索、边实践的方式,推进高校应用

型本科人才培养工作,突出重点目标,并不断取得标志性的阶段成果。

教材建设作为保证和提高教学质量的重要支柱和基础,作为体现教学内容和教学方法的知识载体,在当前培养应用型人才中的作用是显而易见的。探索、建设适应新世纪我国高校应用型人才培养体系需要的教材体系已成为当前我国高校教学改革和教材建设工作面临的十分重要的任务。因此,在课题研究过程中,各课题组充分吸收已有的优秀教学改革成果,并和教学实际结合起来,认真讨论和研究教学内容和课程体系的改革,组织一批学术水平较高、教学经验较丰富、实践能力较强的教师,编写出一批以公共基础课和专业、技术基础课为主的有特色、适用性强的教材及相应的教学辅导书、电子教案,以满足高等学校应用型人才培养的需要。

我们相信,随着我国高等教育的发展和高校教学改革的不断深入,特别是随着教育部“高等学校教学质量和教学改革工程”的启动和实施,具有示范性和适应应用型人才培养的精品课程教材必将进一步促进我国高校教学质量的提高。

全国高等学校教学研究中心

2003年4月

前 言

随着微电子技术的发展,微型计算机的应用迅速渗透到各个领域。控制领域中计算机应用从单板机、可编程控制器、微机系统到工业网络,推动了生产方式的革命。计算机控制技术成为工业控制中最有潜力、最活跃的一个领域。目前,及时、准确、可靠地获得现场设备的信息是计算机控制系统的基本要求,可靠、高效的现场控制网络则是迅速有效地收集和传送现场生产与管理数据的基本保障。目前,网络技术的迅速发展引发了自动控制领域的深刻技术变革。计算机控制系统的结构沿着网络化方向与控制系统体系沿着开放性方向发展将是计算机控制技术发展的新潮流,网络化、开放化、智能化和集成化是工业控制技术发展的方向与灵魂。现场总线技术、以太控制网络技术、分布式网络控制技术与企业网络技术的出现及其发展,将推动控制领域的全方位技术进步。

本书以计算机控制系统的网络化、开放化、智能化和集成化发展趋势为主线,有机地融入了作者多年参加国家 863 项目的科研成果,系统地介绍了计算机控制系统方面的原理与设计方法。本书注重系统性、实用性,强调计算机控制理论的实际运用,并注重近年来的新技术介绍。同时,利用作者科研工作的亲身体会和经验,着重对学生独立思考能力、实际动手能力、综合运用能力和创新思维能力的培养和训练。

全书共分为 8 章。第 1 章介绍计算机控制系统的基本概念、分类方法、工作原理、系统组成和发展趋势;第 2 章介绍计算机控制系统的数学描述与分析方法;第 3 章介绍数字控制器的模拟化设计方法与直接数字设计方法;第 4 章介绍高级数字控制器的分析与设计;第 5 章介绍过程输入输出通道技术,重点讨论 D/A、A/D 的转换原理,S/H、D/A、A/D 的工作原理及其典型器件的应用方法,以及与 CPU 的接口技术;第 6 章介绍计算机控制系统中数据处理的一些常用方法;第 7 章介绍集散控制系统、现场总线控制系统;第 8 章在以上各章的基础上介绍计算机控制系统的设计与实现方法,并通过一些应用实例,以帮助读者掌握计算机控制系统的一般设计原则与方法。

本书编写过程中力求做到理论分析计算与应用技术并重,注重软件与硬件的有机结合,把握计算机控制系统的结构沿着网络化方向发展与控制系统体系沿着开放性方向发展这一计算机控制技术发展的新潮流,强化通信技术与网络

技术在计算机控制系统中的地位,强调计算机控制系统的整体概念。为了便于读者理解和掌握,列举了大量有关计算机控制系统分析、设计与实现的典型例子,并力求达到重点突出,层次分明,语言精练,易于理解。

本书参考学时为 50 学时左右,先修课程包括:微机原理及应用、软件技术基础、自动控制原理等。

肖琼参加了第 1 章、第 2 章、第 3 章、第 4 章、第 5 章和第 7 章的编写;陈敏娜参加了第 3 章、第 6 章的编写;王平教授/博士参加了第 1 章至第 8 章的编写,并负责全书的统稿。北京理工大学陈祥光教授仔细审阅了书稿并提出了许多宝贵的意见,在此,谨表深切的谢意。

由于作者水平有限,加之当今科学发展日新月异,尽管在编写过程中尽心尽力,书中不足或缺点在所难免,敬请读者批评指正,希望提出宝贵的意见。

编者

2004 年 1 月

于重庆邮电学院

目 录

第 1 章 计算机控制系统

概述 1

1.1 自动控制系统的基本结构 ... 1

1.2 计算机控制系统基本原理 ... 2

1.3 几个典型的计算机控制系统 ... 3

1.4 计算机控制系统的分类 5

1.5 计算机控制系统的特点 14

1.6 计算机控制系统的性能 及其指标 15

1.7 计算机控制系统的发展 17

习题一 21

第 2 章 计算机控制系统的

数学描述 22

2.1 计算机控制系统的数学描述 方法分类 22

2.2 信号的采样与采样定理 23

2.3 计算机控制系统的等效离散 系统数学描述 32

2.4 采样控制系统的动态分析 ... 40

2.5 采样系统的稳定性 43

2.6 采样控制系统的稳态分析 ... 45

习题二 47

第 3 章 常规数字控制器的

设计方法 49

3.1 数字控制器的设计 方法分类 49

3.2 模拟控制器的离散化 50

3.3 数字 PID 控制 56

3.4 最少拍数字控制系统 的设计 76

3.5 最少拍无纹波控制 系统设计 84

3.6 最少拍控制系统的改进 87

3.7 达林算法 91

习题三 95

第 4 章 高级数字控制器的

分析与设计 97

4.1 数字控制器状态变量 分析理论基础 97

4.2 数字控制器状态变量 设计法 118

4.3 模糊控制 133

4.4 专家控制 164

习题四 177

第 5 章 过程输入输出通道

技术 180

5.1 过程输入输出通道的 组成与功能 180

5.2 过程输入输出通道的 控制方式 180

5.3 多路开关及采样-保持器 ... 184

5.4 开关量(数字量)输出 通道 195

5.5 开关量(数字量)输入通道 ... 198

5.6 模拟量输出通道的

接口技术	206	简介	308
5.7 模拟量输入通道	228	习题七	329
习题五	254	第 8 章 计算机控制系统设计	
第 6 章 数据处理技术	257	计与实现	330
6.1 查表技术	258	8.1 计算机控制系统的设计	
6.2 数字滤波技术	262	原则	330
6.3 量程自动转换和标度变换	270	8.2 计算机控制系统的设计	
6.4 测量数据预处理技术	278	方法	332
习题六	283	8.3 控制系统中的可靠性	
第 7 章 网络控制系统		技术	341
概述	285	8.4 加热炉温度控制系统	348
7.1 集散控制系统简介	285	8.5 基于 EPA 标准的蓝牙/以太网	
7.2 现场总线技术简介	290	混合测控试验系统	362
7.3 中国国家标准《用于测量与		习题八	370
控制系统的 EPA 通信标准》		参考文献	371

第 1 章

计算机控制系统概述

计算机控制系统是自动控制理论、自动化技术与计算机技术紧密结合的产物。控制理论的发展,尤其是现代控制理论的发展,与计算机技术息息相关。利用计算机快速强大的数值计算、逻辑判断等信息加工能力,计算机控制系统可以实现比常规控制更复杂、更全面的控制方案。计算机为现代控制理论的应用提供了有力的工具。同时,计算机控制系统应用于工业控制领域提出一系列理论与工程上的问题,又进一步推动了控制理论和计算机技术的发展。计算机技术在控制领域中的应用,还有力地推动了自动控制技术的发展,大大扩展了控制技术在工业生产中的应用范围,特别是使复杂的、大规模的自动化系统与过程发展到了一个新的阶段。

1.1 自动控制系统的基本结构

自动化控制系统要综合运用信息获取、信息传输、信息处理和信息集成等技术,并考虑人的因素、环境因素的相互作用与影响。可以说自动化技术涉及信息技术的全部,通信技术的重点是在信息的传输,计算机技术的重点是在信息的处理,而自动化技术的重点则在信息的控制应用上。

一般来说,自动控制系统随着控制对象、控制规律、执行机构的不同而具有不同的特点,但可归纳为图 1.1 所示的两种基本结构。

在控制系统中为了得到控制信号,要将被控参数与给定值进行比较,然后形成误差信号。控制器根据误差信号进行控制调节,使系统趋向误差减小,最终使误差为零。从而达到使被控参数趋于或等于给定值之目的。在这种控制系统中,被控量是系统的输出,同时被控量又反馈到输入端,与输入量(给定值)相减,所以称为按误差进行控制的闭环控制系统。从图 1.1a 可知,该系统通过测量元件对被控对象的被控参数(如温度、压力、流量、转速、位移等)进行测量,由变换发送单元将被测参数变成一定形式的电信号,反馈给控制器。控制器将反馈回来的信号与给定信号进行比较,若有误差则按预定的控制规律产生一控制信号驱动执行机构工作,使被控参数与给定值保持一致。

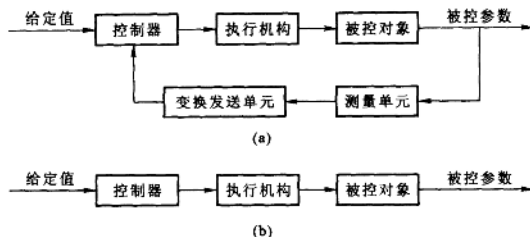


图 1.1 自动控制系统的基本结构

图 1.1b 是开环控制系统。与闭环控制系统不同，它不需要被控对象的反馈信号，控制器直接根据给定值去控制被控对象工作。这种控制系统不能自动消除被控参数与给定值之间的误差。与闭环控制系统相比，其控制性能显然要差。

由图 1.1 可见，自动控制系统的基本功能是进行信号的传递、加工和比较。这些功能是由检测单元、变换发送单元、控制器和执行机构来完成的。其中控制器是控制系统的关键部分，它决定了控制系统的控制性能和应用范围。

1.2 计算机控制系统基本原理

若将自动控制系统中的控制器的功能用计算机或数字控制装置来实现，就构成了计算机控制系统，其基本框图如图 1.2 所示。因此，简单说来，计算机控制系统就是由各种各样的计算机参与控制的一类系统。

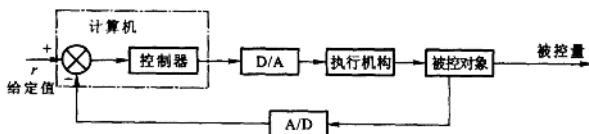


图 1.2 计算机控制系统基本原理图

在一般的模拟控制系统中，控制规律是由硬件电路产生的，要改变控制规律就要更改硬件电路。而在计算机控制系统中，控制规律是用软件实现的，计算机执行预定的控制程序，就能实现对被控参数的控制。因此，要改变控制规律，只要改变控制程序就可以了。这就使控制系统的设计更加灵活方便。特别

是可以利用计算机强大的计算、逻辑判断、记忆、信息传递能力,实现更为复杂的控制规律,如非线性控制、逻辑控制、自适应控制、自学习控制及智能控制等。

计算机控制系统中,计算机的输入和输出信号都是数字量,因此在这样的系统中,需要将模拟量变成数字量的 A/D 转换器,以及将数字量转换成模拟量的 D/A 转换器。

计算机控制系统的控制过程一般可归纳为三个步骤:

- (1) 实时数据采集 对被控参数的瞬时值实时采集,并输入计算机。
- (2) 实时决策控制 对采集到的表征被控参数的状态量进行分析,并按已确定的控制规律,决定进一步的控制行为。
- (3) 实时控制输出 根据做出的控制决策,适时地向执行机构发出控制信号,在线、实时地实施控制。

以上过程不断重复,使整个系统能按照一定的动态性能指标工作。此外,计算机控制系统还应该能对被控参数和设备本身可能出现的异常状态进行及时监督和处理。虽然计算机实际上只进行算术、逻辑操作和数据传递等工作,但控制过程的三个步骤主要是由计算机完成的。

1.3 几个典型的计算机控制系统

例 1.1 啤酒罐计算机温度控制系统。

啤酒罐计算机温度控制系统是多点温度控制系统,如图 1.3 所示。啤酒罐的温度要多点控制,各点温度由铂电阻、恒流源、放大器等构成的测量电路转换成电压信号,由多路开关、采样保持器巡回检测,然后经 A/D 转换器(模/数转换器)变成数字量送到计算机与给定值进行比较,对比较的结果按照一定的规律(通常为 PID,即比例、积分、微分)运算,输出控制量,最后经过 D/A 转换器(数/模转换器)、保持器、执行机构分别控制啤酒罐相应各点的温度。

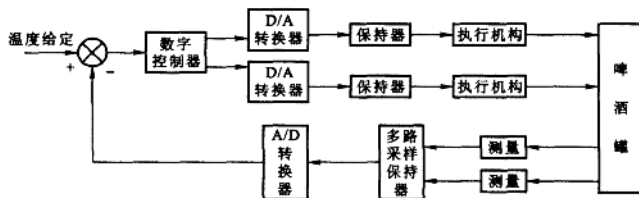


图 1.3 啤酒罐计算机温度控制系统

例 1.2 基于 PROFIBUS 的计算机分级控制系统。

PROFIBUS 是目前应用最广泛的一种现场总线控制系统,符合 PROFIBUS 通信协议的各种监控站、可编程控制器 (PLC)、集散控制系统 (DCS)、控制装置和现场设备都可直接挂接到 PROFIBUS 现场总线上,基于 PROFIBUS 的计算机分级控制系统典型应用系统结构如图 1.4 所示。该系统集成了用于通用目的自动化的 PROFIBUS-FMS、用于工厂自动化的 PROFIBUS-DP 和用于过程自动化的 PROFIBUS-PA,并通过区域控制器与以太网相连,从而实现了从传感器/执行器到区域控制器的透明通信。

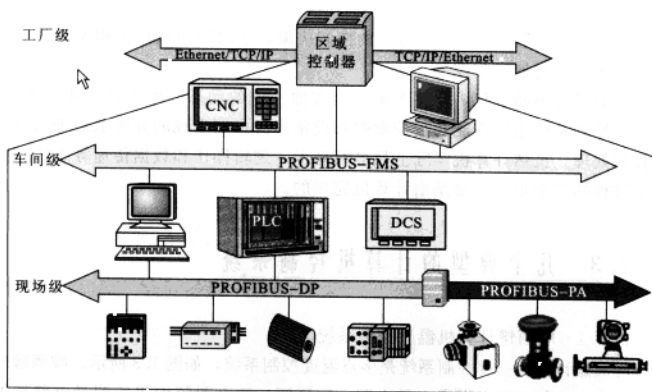


图 1.4 基于 PROFIBUS 的计算机分级控制系统

例 1.3 EPA 过程控制系统。

本书作者参与起草的国家标准“用于工业测量与控制系统的 EPA (Ethernet for Plant Automation) 系统结构和通信标准”是一种基于以太网、无线局域网、蓝牙等信息网络通信技术的适用于工业自动化控制系统装置与仪器仪表之间、工业自动化仪器仪表相互之间数据通信的工业控制网络通信标准,包括相互之间的通信操作、为用户应用程序提供的服务接口以及相关管理方面的规范。与此同时,还规定了基于以太网、无线局域网、蓝牙等网络媒体与配置的要求,以保证以太网、无线局域网、蓝牙等网络通信技术应用于复杂工业现场的环境适应性要求(包括机械环境适应性、气候环境适应性、电磁环境适应性以及可靠性等)。基于 EPA 标准构建的工业自动化控制系统是一种分布式网络控制系统,它由现场设备和控制/监视设备组成,并结合工业自动化生产现场物理环境,使所有 EPA 设备一起协调工作,完成生产过程和操作中的 I/O 数据采集和自动化

控制。

图 1.5 所示的 EPA 过程控制系统是一种基于工业以太网技术的多总线集成控制系统,该系统集成了以太网、无线局域网、蓝牙等通信方式和区域控制器、总线供电的以太网交换机、电动执行器、数据采集器、交通灯控制器和 FF 网关、FF 总线设备等。该系统中符合工业以太网规范的各种管理控制设备和现场设备直接挂接到工业以太网总线上,而传统的 PLC、DCS 和各种现场总线(如 FF、Profibus 等)可通过网关挂接到工业以太网总线上,从而既保证了用户已有的投资,又提升了控制系统的技术水平。

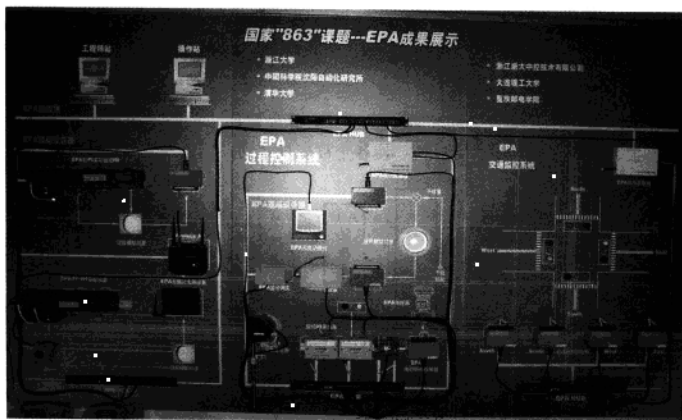


图 1.5 EPA 过程控制系统

1.4 计算机控制系统的分类

计算机控制系统的分类方法很多,可以按照系统的功能、控制规律或控制方式等进行分类。

1.4.1 按功能及结构分类

1. 操作指导控制系统

如图 1.6 所示,计算机根据一定的算法,依据检测元件测得的信号数据,其数据处理系统对生产过程的大量参数做巡回检测、处理、分析、记录以及参数的

超限报警等。通过对大量参数的积累和实时分析,可以达到对生产过程进行各种趋势分析,为操作人员提供参考。或者计算出可供操作人员选择的最优操作条件及操作方案,操作人员则根据计算机输出的信息去改变调节器的给定值或直接操作执行机构。

2. 直接数字控制系统 (Direct Digital Control, DDC)

如图 1.7 所示,计算机通过测量元件对一个或多个物理量进行循环检测,经采样、A/D 转换转换为数字量,并根据规定的规律进行运算,然后发出控制信号直接控制执行机构,使各个被控量达到预定的要求。

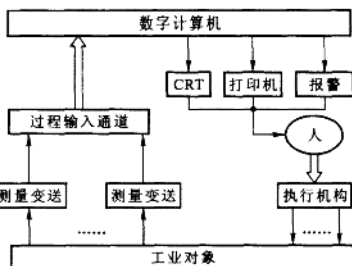


图 1.6 操作指导控制系统组成框图

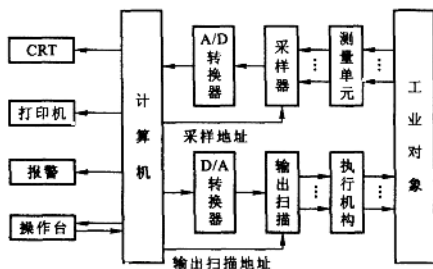


图 1.7 直接数字控制系统示意图

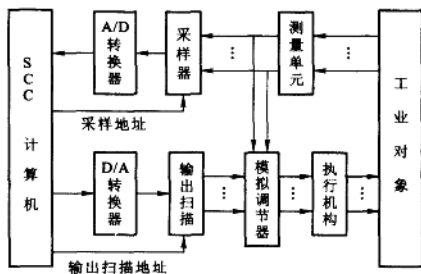
DDC 系统中的计算机参加闭环控制过程,它不仅能完全取代模拟调节器,实现多回路的 PID (比例、积分、微分) 调节,而且不需改变硬件,只通过改变程序就能有效地实现较复杂的控制,如前馈控制、非线性控制、自适应控制、最优控制等。

DDC 系统是计算机用于工业生产过程控制的最典型的一种系统。在 DDC 系统中使用计算机作为数字控制器,在热工、化工、机械、冶金等部门已获得广泛应用。

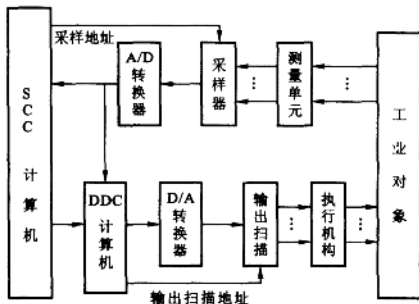
3. 监督控制系统 (Supervisory Computer Control, SCC)

如图 1.8 所示,它是操作指导控制系统和 DDC 系统的综合与发展。它由计算机按照描述生产过程的数学模型,计算出最佳给定值,送给模拟调节器或 DDC 计算机。最后由模拟调节器或 DDC 计算机控制生产过程,使得生产过程始

终处于最优工作状态。SCC 系统较 DDC 系统更接近生产变化实际情况，它不仅可以进行给定值控制，同时还可以进行顺序控制、最优控制等。该类系统有两种结构形式：一种是 SCC+模拟调节器；另一种是 SCC+DDC 控制系统。



(a) SCC+模拟调节器控制系统



(b) SCC+DDC控制系统

图 1.8 监督控制系统示意图

(1) SCC+模拟调节器的控制系统 该系统原理图如图 1.8a 所示。在此系统中，由计算机系统对各物理量进行巡回检测，按一定的数学模型计算出最佳给定值并送给模拟调节器，此给定值在模拟调节器中与检测值进行比较，其偏差值经模拟调节器计算，然后输出到执行机构，以达到调节生产过程的目的。当 SCC 计算机出现故障时，可由模拟调节器独立完成操作。

(2) SCC+DDC 的控制系统 该系统原理图如图 1.8b 所示。这实际上是一个两级控制系统，一级为监控级 SCC，另一级为 DDC 控制级。SCC 的作用与 SCC+模拟调节器系统中的 SCC 一样，完成车间或工段一级的最优化分析和计

算,并给出最佳给定值,送给 DDC 级计算机直接控制生产过程。两级计算机之间通过接口进行信息联系,当 DDC 级计算机出现故障时,可由 SCC 级计算机代替,因此大大提高了系统的可靠性。

4. 集散控制系统 (Distributed Control System, DCS)

以微机为核心,把微机、工业控制计算机、数据通信系统、显示操作装置、输入输出通道等有机地结合起来,既实现地理上和功能上分散的控制,又通过高速数据通道把各个分散点的信息集中监视和操作,并实现高级复杂规律的控制。

现在欧、美、日等国家以及国内的浙大中控技术有限公司等都已大批量生产各种型号的集散综合控制系统,尽管型号不同,功能各异,然而它们的基本结构都是大同小异的,如图 1.9 所示。

集散控制的优点主要有:容易实现复杂的控制规律,系统是积木式结构,系统结构灵活,可大可小,易于扩展;系统可靠性高;采用 CRT 显示技术和智能操作,操作、监视十分方便;电缆和敷设电缆成本低,施工周期短;易于实现程序控制。

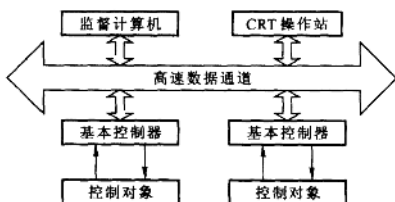


图 1.9 集散控制系统示意图

但调节器与被控对象之间传输的仍然是 4~20 mA 的模拟信号。

5. 现场总线控制系统

现场总线是用于现场仪表与控制室系统之间的一种开放、全数字化、双向、多站的通信系统。使系统成为具有测量、控制、执行和过程诊断的综合能力的控制网络。现场总线系统如图 1.10 所示,它实际上融合了智能化仪表、计算机网络和开放系统互联 (OSI) 等技术的精粹。

现场总线的优点主要有:现场总线通过一对传输线,可挂接多个设备,实现多个数字信号的双向传输;数字信号完全取代 4~20 mA 的模拟信号,实现了全数字通信;现场总线控制系统具有良好的开放性、可互操作性与互用性;现场设备具有高度的智能与功能自治性,将基本过程控制、报警和计算等功能分布在现场完成,提高了系统的可靠性;对现场环境的高度适应性;使设备易于增加非控制信息,如自诊断信息、组态信息以及补偿信息等;易于实现现场管理和控制的统一。

6. 以太网控制网络系统

图 1.11 就是基于工业以太网技术的多总线集成控制系统的典型结构,目前